

ESTUDO DE VIBRAÇÕES LIVRES DE UM CHASSI SPACE-FRAME TIPO BAJA

LUCAS CASTRO SOUSA^{1*}, ARLINDO PIRES LOPES²; ADRIANA ALENCAR SANTOS³

¹Graduando em Engenharia Mecânica, UEA, Manaus-AM, lucascastro.mec@gmail.com

²Ph.D. em Engenharia de Estruturas, UEA, Manaus-AM, alopes@uea.edu.br

³M.Sc. em Engenharia de Materiais, UFAM, Manaus-AM, adrianasantos@ufam.edu.br

Apresentado no

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2017

8 a 11 de agosto de 2017 – Belém-PA, Brasil

RESUMO: Neste trabalho é analisado numericamente um modelo de chassi space-frame do tipo BAJA, utilizado na competição acadêmica Baja SAE Brasil, organizada pela Sociedade de Engenheiros Automotivos (Society of Automotive Engineers - SAE). A análise abordada neste projeto é a simulação de vibrações livres. Sabe-se que, estruturas submetidas a fontes de excitação, podem atingir o colapso estrutural caso a frequência natural incidente na mesma, coincida com as frequências naturais da estrutura. Tendo como objetivo a validação da análise modal por meio de vibrações livres do chassi projetado, etapas foram estabelecidas para o cumprimento de tal objetivo. O chassi projetado previamente no software Autodesk Inventor Student 2016 foi importado para o pré-processador FEMAP v.11, onde foi gerado o modelo de elementos finitos utilizando o aço SAE 1020, bastante utilizado na competição. A análise numérica foi realizada pelo programa vinculado ao FEMAP, denominado NX Nastran, onde a partir dos resultados gerados, fez-se a exibição dos mesmos a partir do também pós-processador FEMAP. Os resultados encontrados foram satisfatórios e possibilitaram a validação do chassi considerando a simulação de vibrações livres.

PALAVRAS-CHAVE: Chassi, elementos finitos, vibrações.

STUDY OF FREE VIBRATIONS OF A SPACE-FRAME CHASSIS OF THE BAJA TYPE

ABSTRACT: In this work is analyzed numerically a BAJA type space-frame chassis model, which is used in the Baja SAE Brazil academic competition, organized by the Society of Automotive Engineers (SAE). The analysis addressed in this project is the simulation of free vibrations. It is known that structures subjected to excitation sources can reach structural collapse if the natural frequency of the vibration coincides with the natural frequencies of the structure. With the objective of validating the modal analysis by means of free vibrations of the designed chassis, steps were established to achieve this objective. The chassis previously designed in Autodesk Inventor Student 2016 software was imported into the FEMAP v.11 preprocessor, where the finite element model was generated using SAE 1020 steel, widely used in the competition. The numerical analysis was performed by the program linked to FEMAP, called NX Nastran, where the results generated, a display of the same from the FEMAP postprocessor. The results were satisfactory and enabled the chassis validation considering a simulation of free vibrations.

KEYWORDS: Chassis, finite elements, vibrations.

INTRODUÇÃO

A SAE (Society Automotive of Engineers) é uma organização internacional sem fins lucrativos, fonte de normas e padrões relativas aos setores automotivo e aeroespacial em todo o mundo (SAE, 2016). Esta entidade visa o aprimoramento desde cedo dos futuros engenheiros e por este motivo promove competições estudantis para os alunos de graduação e pós-graduação.

A SAE Brasil, filial da entidade no Brasil, promove em território nacional essas competições estudantis. Uma das mais importantes, denominada Baja SAE Brasil, é uma competição onde alunos de engenharia e áreas relativas à mobilidade têm a oportunidade de pôr em prática os conhecimentos

obtidos na sala de aula, participando das etapas de projeto, construção e testes de um veículo off-road, monoposto, robusto e capaz de agradar ao público entusiasta e não profissional.

Durante a competição o veículo projetado é posto sob as mais variadas provas fazendo com que cada um dos sistemas projetados pelos alunos (chassi, transmissão, freio, suspensão e sistemas elétricos) funcionem em harmonia. Porém, sendo um veículo protótipo, acidentes podem acontecer, podendo danificar diversos sistemas do carro, além de poder comprometer a integridade física do piloto. Sendo assim, o chassi ou estrutura do carro deve ser robusta o suficiente de modo a proteger o piloto e os demais sistemas do veículo.

Sendo um subproduto do produto protótipo, o chassi deve ser projetado e testado antes de ser confeccionado, garantindo assim sua total segurança. O chassi deve ser projetado em um software CAD, baseado nas normas da competição e testado em um software computacional, pois permite uma redução de custos, de tempo de desenvolvimento e lançamento do produto, sendo possível prever e simular o comportamento dos sistemas mecânicos veiculares (Santos, 2007).

Para a validação modal considerando apenas vibrações livres no chassi será abordado o método dos elementos finitos, consistindo da discretização da estrutura em elementos em quantidade finita no intuito de buscar soluções aproximadas do fenômeno analisado. Para esta análise se fará uso da ferramenta de pré-processamento e pós-processamento FEMAP v.11, com a etapa de processamento sendo efetuada pelo software NX Nastran.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo da frequência natural do sistema é de fundamental importância no estudo de estruturas, neste caso no chassi, pois forças de excitação externas originadas ou não na estrutura, possuem frequências naturais que caso coincidam com as frequências naturais da mesma, as oscilações resultantes podem levar ao seu colapso (Halliday et al., 2009). No estudo de vibrações livres no projeto Baja, o maior fator de contribuição de forças vibratórias é o motor Briggs&Stratton, 10 hp e refrigerado a ar (SAE, 2017), exigido pela SAE, o qual possui frequências naturais que variam entre 15 e 25 Hz (Kabilan, 2016). Sendo assim, a estrutura do chassi deve possuir frequência natural acima deste range para evitar-se o colapso estrutural.

A estrutura do chassi exigida pela SAE é do tipo space-frame. Por definição, uma verdadeira estrutura space-frame é uma completa estrutura na qual todas as junções podem ser flexíveis sem que o chassi perca assim sua rigidez (Costin et al., 1974). Segundo Neves (2014), este tipo de chassi é pouco dispendioso em termos de fabricação e manutenção em caso de dano e é o mais eficiente tipo de chassi a se construir em uma produção limitada (Costin et al., 1974).

Basicamente, este tipo de chassi é composto por tubos, os quais estão dispostos em formatos triangulares ou treliças. O formato de treliça aumenta a profundidade da estrutura e, com isso, aumenta sua rigidez e sua resistência à flexão e torção quando submetido a diversos tipos de carregamentos (Happian-Smith, 2001).

Levando em consideração o regulamento proposto pela SAE para a competição Baja SAE Brasil 2017 foi projetado um chassi em formato de treliça fazendo uso da ferramenta CAD Autodesk Inventor Student 2016. Em seguida, foi selecionado o material SAE 1020, o qual é amplamente utilizado por diversas equipes devido ao seu custo-benefício, possuindo baixo preço relativo a outros aços utilizados e também possuir boa conformação mecânica e soldabilidade. Além disso, o aço SAE 1020 está acima do limite de 0,18% de carbono exigido pelo regulamento

O chassi utilizado na competição é composto por dois tipos de elementos: principais e secundários. Os elementos principais recebem os maiores esforços em caso de colisão e os elementos secundários possuem a função de reforço estrutural. Neste trabalho foram selecionados como elementos principais, aços tubulares de 31,8 mm de diâmetro externo e 2,0 mm de espessura de parede e como elementos secundários foram selecionados aços tubulares de 28,0 mm de diâmetro externo e 2,0 mm de espessura de parede. O modelo projetado pode ser visualizado nas Figuras 1 e 2, sendo os elementos principais na cor verde e os elementos secundários na cor cinza.

Figura 1. Linhas de construção do chassi

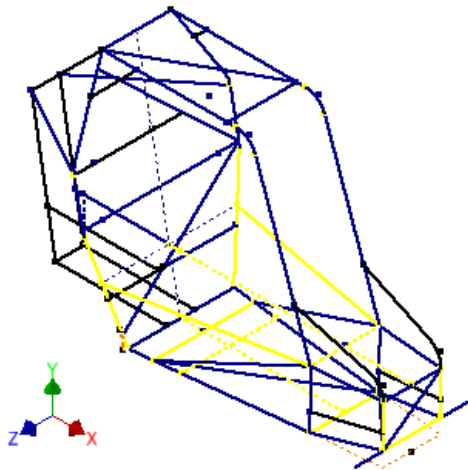
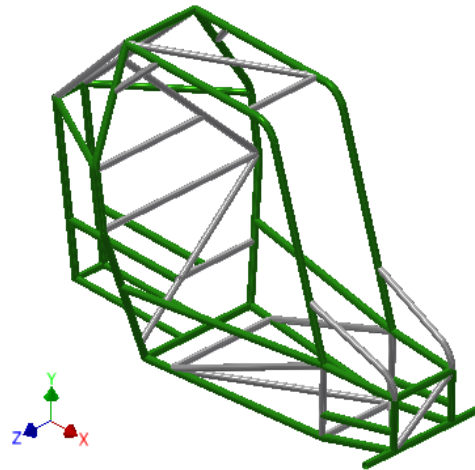


Figura 2. Estrutura do chassi completa



O chassi da Figura 1 foi exportado para o pré-processador FEMAP v.11, onde foram definidas as propriedades a serem utilizadas na análise, o material SAE 1020 e as dimensões tubulares, ambos definidos anteriormente e também, o tipo de elemento finito a ser utilizado na simulação. Nesta simulação optou-se pelo uso do elemento finito conhecido como Viga ou Beam por apresentar respostas de boa aproximação e possuir baixa exigência computacional se comparado aos elementos tridimensionais (Filho, 2013).

Para a geração da malha e definição da quantidade de nós a ser utilizada no modelo, fez-se um estudo de convergência de resultados. Esse estudo consistiu da verificação da variação dos resultados obtidos, aumentando-se a quantidade de nós. Em outras palavras, ao se aumentar a quantidade de nós, diferentes resultados são encontrados (maior aproximação dos resultados), porém, em um determinado momento, a variação desses resultados obtidos passa a ser mínima e é neste ponto que passamos a ter a quantidade também mínima de nós para a realização da simulação. Vale ressaltar que uma maior quantidade de nós e, por conseguinte, de elementos, gera maior tempo de processamento do computador, elevando assim o custo e tempo de execução projeto.

Na Tabela 1 podemos verificar os valores encontrados para cada um dos 4 modos de vibração.

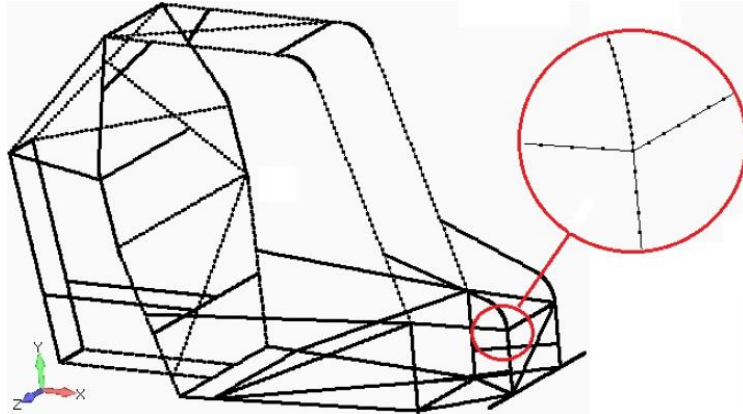
Tabela 1. Tabela de Convergência

1º Modo (Hz)	2º Modo (Hz)	3º Modo (Hz)	4º Modo (Hz)	Quantidade de Elementos
54,26	56,96	74,05	86,67	700
54,30	56,98	74,53	86,67	1400
54,33	57,01	74,59	86,67	2100
54,31	56,98	74,54	86,67	2800
54,32	56,99	74,54	86,67	3500
54,32	56,99	74,54	86,67	4200

A partir da tabela acima, pôde-se notar a convergência dos valores de frequência em seus respectivos modos de vibração a partir da quantidade de 3500 elementos, na qual a variação dos resultados obtidos torna-se mínimo. Por este motivo, a quantidade de 3500 elementos foi utilizada neste trabalho. Sendo assim a malha de elementos finitos com os elementos definidos pode ser visualizada na Figura 3.

Após a geração da malha de elementos finitos, submeteu-se a estrutura modelada à simulação de vibrações livres a partir do software NX Nastran, onde os resultados obtidos pelo pós-processador FEMAP são mostrados na próxima seção.

Figura 3. Malha de elementos finitos



RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os quatro modos de vibração e suas respectivas frequências associadas, podem ser verificadas na tabela abaixo, bem como o comportamento encontrado no chassi projetado.

Tabela 1. Resultados para os 4 modos de vibração

Modo	Frequência (Hz)	Comportamento
1	54,32	Torção
2	56,99	Flexão
3	74,54	Torção / Flexão
4	86,67	Torção / Flexão

Figura 4. 1º Modo de vibração

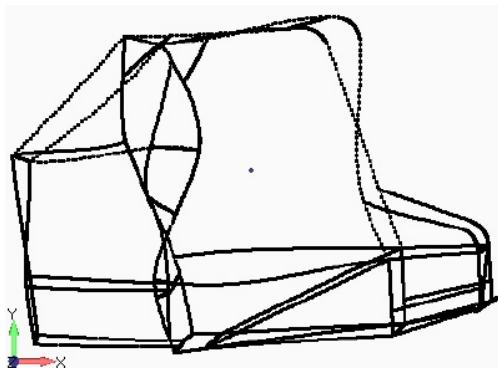


Figura 5. 2º Modo de vibração

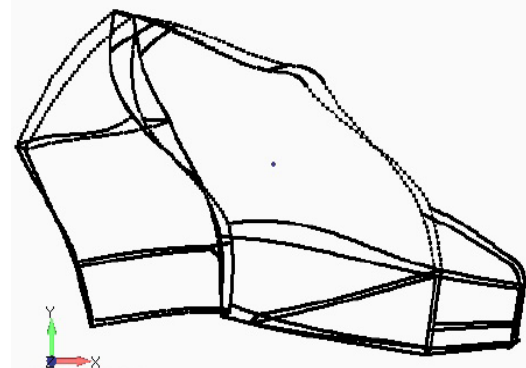


Figura 6. 1º Modo de vibração

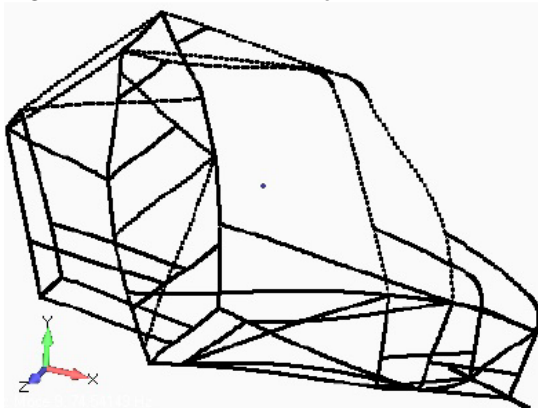
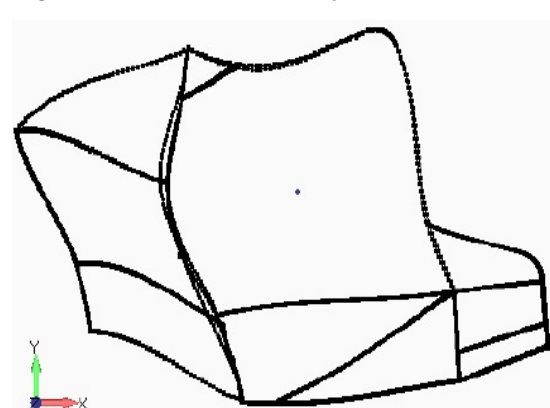


Figura 7. 2º Modo de vibração



Como pode ser visto, o primeiro modo de vibração trata da torção em toda a estrutura. O segundo modo, trata de flexão na estrutura e o terceiro e quarto modo, tratam da combinação dos modos de torção e flexão, na dianteira do protótipo e na traseira, respectivamente.

CONCLUSÕES

Com a coleta dos dados exibidos pelo pós-processador FEMAP v.11 e gerados pelo software NX Nastran, pôde-se verificar que o modelo projetado é capaz de resistir às oscilações causadas pela fonte principal, o motor exigido pela competição, o qual gera frequências de 15 a 25 Hz (Kabilan, 2016). Os resultados encontrados variam entre 54,32 - 86,67 Hz, muito acima do gerado pelo motor e dentro do range (40<Frequência obtida<100 Hz) estipulado nos trabalhos de Kabilan (2016) e Silva et al. (2009).

Pode-se então concluir que pelas análises de vibrações livres realizadas e analisadas pelo método dos elementos finitos, é possível garantir que a estrutura do chassi é eficaz, estável e resistente o suficiente para o propósito do projeto estudado, cumprindo assim, o objetivo geral definido para este projeto. Portanto não foram necessárias aplicação de melhorias no modelo de chassi projetado, visto que as expectativas esperadas foram atendidas no primeiro modelo projetado e analisado.

REFERÊNCIAS

- Costin, M.; Phillips, D.; Allington, J. Racing and sports car chassis design. 3.ed. London: BT Batsford Ltd, 1974. 147p.
- Filho, A. A. Elementos finitos: a base da tecnologia CAE. 6.ed. São Paulo: Editora Érica, 2013. 320p.
- Halliday, D.; Resnick, R.; Walker, J. Fundamentos de Física: Gravitação, Ondas e Termodinâmica. 8.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. 310p.
- Happian-Smith, J. An introduction to modern vehicle design. 1.ed. [S.l.]: Elsevier, 2001. 632p.
- Kabilan, K. M.; Murkute, A.; Marathe, A. H. Structural optimization of sae baja car frame. Disponível em: http://designinformatics.github.io/_teaching//designopt/projects/2016/desopt_2016_01.pdf. Acesso em: 31 de julho de 2016.
- Neves, F. J. Projeto de melhoria de um chassi tubular para um veículo de competição Single Seater. Porto: Universidade do Porto, 2014. 49f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica).
- SAE. Regulamento Baja SAE - Capítulo 5: Requisitos Gerais do Veículo. Disponível em: <http://portal.saebrasil.org.br/Portals/0/PE/RBSB%202017/RBSB%205%20-%20Requisitos%20Gerais%20do%20Veiculo%20-%20Emenda%204.%20ver02.pdf>. Acesso em: 03 de março de 2017.
- SAE. SAE no Mundo. 2016. Disponível em <http://portal.saebrasil.org.br/a-instituicao/sae-no-mundo>. Acesso em: 20 de maio de 2016.
- Santos, V. L. Estudo da dinâmica vertical de um veículo através da teoria de sistemas multicorpos. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2007. 132f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica).
- Silva, F.; Silva, L.; Mello, M. Modal testing of a tubular vehicle chassis. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica. COBEM' 2009. Gramado, Anais...Gramado, 2009.